



⑮ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 197 00 164 A 1**

⑨ Int. Cl.⁶:
A 62 D 3/00
C 02 F 1/72
C 02 F 1/36
// B01J 23/889

⑲ Aktenzeichen: 197 00 164.5
⑳ Anmeldetag: 7. 1. 97
㉑ Offenlegungstag: 9. 7. 98

DE 197 00 164 A 1

㉒ Anmelder:

Krupp VDM GmbH, 58791 Werdohl, DE

㉓ Erfinder:

Gregarek, Ulrich, 58762 Altena, DE; Lausch,
Hartmut, Dr., 06128 Halle, DE; Koppe, Jürgen, Dr.,
06258 Schkopau, DE; Tauchnitz, Heiko, Dr., 06688
Wengelsdorf, DE; Vanselow, Heike, 07743 Jena, DE;
Ondruschka, Bernd, Dr., 04109 Leipzig, DE;
Hofmann, Jörg, Dr., 04439 Engelsdorf, DE

㉔ Entgegenhaltungen:

DE 1 95 03 865 C1
DE-AS 27 13 991
DE-OS 27 13 991
CH 2 00 053
US 50 02 645
EP 05 77 871 A1

Abstract d. japan. Patentanm. 04330999 A;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verfahren zum chemischen Abbau von Verbindungen in wäßriger Phase, Suspensionen und Emulsionen

⑤7 Verfahren zum chemischen Abbau von oxidierbaren Verbindungen, insbesondere organischen und/oder anorganischen Verbindungen sowie von Enzymen und/oder Keimen, in wäßrigen Lösungen, in Suspensionen und/oder Emulsionen, durch Kombination eines Vollmetallkatalysators mit Ultraschall und Oxidationsmittel.

DE 197 00 164 A 1

Beschreibung

Gegenstand der Erfindung ist ein Verfahren zum chemischen Abbau von oxidierbaren Verbindungen.

Die Anwendung von Ultraschall ermöglicht mehrheitlich die Initiierung und Beeinflussung des Reaktionsweges von heterogenen chemischen Umsetzungen, in deren Folge eine Erhöhung der Reaktionsgeschwindigkeit und damit des Umsatzes beobachtet wird [K. S. Suslick, Ultrasound - Its Chemical, Physical, and Biological Effects, VCH, Weinheim 1988, Kap. 5]. Darüber hinaus ermöglicht die Anwendung von Ultraschall den Abbau von oxidierbaren bzw. thermisch wandelbaren organischen und anorganischen Verbindungen in flüssiger Phase auch ohne Zusatz von Oxidationsmitteln [K. S. Suslick, Ultrasound - Its Chemical, Physical, and Biological Effects, VCH, Weinheim 1988, Kap. 4].

Der Einsatz von Ultraschall in Verbindung mit Oxidationsmitteln (Ozon, Percarbonsäuren, Wasserstoffperoxid o. ä.) und/oder UV-Strahlung [A. J. Johnston, P. Hocking, Emerging Techniques in Hazardous Waste Recycling, ACS, Washington 1993, 106-181 ist für den Abbau oxidierbarer Verbindungen in wäßriger Phase grundsätzlich möglich.

Bekannt ist, daß gelöstes Eisen (Fe^{2+}) in Kombination mit Wasserstoffperoxid (Fentons-Reaktion) zum Abbau von Schadstoffen in Problemwässern eingesetzt werden kann [J. Prousek, Chem. Listy 89 (1995) 11-21]. Bekannt ist auch, daß heterogene Katalysatoren in Kombination mit Ozon (ECOCLEAR-Verfahren: PCT/NL 90/00075; J. H. J. Annee, F. P. Logeman, Int. Conf. Oxidation Technologies for Water and Wastewater Treatment, Clausthal-Zellerfeld 1996) bzw. eisenhaltige Aluminiumoxid-Katalysatoren in Kombination mit Wasserstoffperoxid (M. Jank, Tagungsband "Produktions-integrierter Umweltschutz", Bremen, 1996) zur Abwasserreinigung bzw. Trinkwasseraufbereitung eingesetzt werden können. Bekannt ist weiterhin, daß vollmetallische Katalysatoren vom MOLOx-Typ in Gegenwart von Oxidationsmitteln, wie Wasserstoffperoxid, Percarbonsäuren, Sauerstoff, Ozon und sauerstoffhaltigen Gasgemischen für den Abbau und die Mineralisierung oxidierbarer Substanzen und/oder deren Wandlung in biologisch abbaubare Metaboliten geeignet sind (vgl. DE-PS 195 03 865.7, DE-PS 196 10 345.2 und DE-PS 196 13 273.8).

Nachteilig bei diesen Verfahren zur Reinigung von Problemwässern ist, daß sich hochbelastete oder mit biologisch schwer abbaubaren Schadstoffen verunreinigte wäßrige Lösungen, Suspensionen und/oder Emulsionen mit Ultraschall, durch den Einsatz von Ultraschall in Kombination mit UV-Bestrahlung oder durch homogene wie heterogene Katalysatoren in Gegenwart von Oxidationsmitteln betriebswirtschaftlich nur mit erheblichem ökonomischem Aufwand reinigen lassen. Außerdem sind die Reinigungszeiten für betroffene Einrichtungen zu lang.

Der alleinige Einsatz von Ultraschall, selbst in Verbindung mit Oxidationsmitteln wie Wasserstoffperoxid, Sauerstoff, Ozon, sauerstoffhaltigen Gasgemischen, Luft und/oder durch UV-Bestrahlung erzeugten Hydroxylradikalen für den Abbau oxidierbarer Substanzen in flüssiger Phase, Suspensionen und Emulsionen ist prinzipiell möglich. Die bislang benutzten Anordnungen stellen in der Regel Laboranordnungen dar, die gegenwärtig aus verfahrenstechnischer Sicht keine optimale Reinigung gestatten. Weiterhin kann die geringe Löslichkeit bestimmter Substanzen in Wasser, wie z. B. von Dioxinen, PCBs oder PAKs, dazu führen, daß bei der alleinigen Anwendung von Ultraschall Wandeffekte auftreten, d. h. an der Reaktorwand Adsorbate entstehen, die nicht mit den in-situ erzeugten Radikalen reagieren [V. Rosenbaum, Bericht zum Informationstag Sonochemie, Wiesbaden 1996]. Nachteilig bei der Sonolyse ist die begrenzte Anwendbarkeit auf Verbindungen mit hohem Dampfdruck (niedrigem Siedepunkt) und geringer Polarität. Bei hydrophilen Verbindungen (z. B.: Phenol- oder Carbonsäurederivate) mit niedrigen Dampfdrücken werden nur ungenügende Raum-Zeit-Ausbeuten erreicht.

Bei Einsatz von UV-Strahlung in Kombination mit Wasserstoffperoxid und/oder Ozon ist bei schwebstoffreichen Problemwässern die Eindringtiefe der UV-Strahlen so niedrig, daß auch hier nur ungenügende Raum-Zeit-Ausbeuten erzielt werden können [H. Rüdlich, M. Trageser, R. Offmann, R. Römer, WLB Wasser, Luft und Boden 1996 (1-2) 59-61].

Bei Ausnutzung der homogenen Fentons-Reaktion muß Eisen in stöchiometrischen Mengen eingesetzt werden. Da das Eisen oxidiert wird, macht sich eine Fällung und Reduktion erforderlich. Das Verfahren ist somit apparatetechnisch aufwendig.

Bislang untersuchte heterogene Katalysatorsysteme sind empfindlich gegenüber Schwebstoffen, da diese durch Ablagerungen die katalytisch aktiven Zentren des Katalysators blockieren können. Bei sauren Problemwässern (pH-Wert < 5) wird das katalytisch wirksame Eisen von der Katalysatoroberfläche heruntergewaschen und muß ersetzt werden.

Vollmetallkatalysatoren erfordern in der Regel "Ansprung"temperaturen oberhalb von 50°C. Der erforderliche Energieaufwand zur Aufheizung des zu behandelnden Problemwassers ist hoch. Bei niedrigeren Arbeitstemperaturen ist die Raum-Zeit-Ausbeute unbefriedigend.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Reinigung von Problemwasser bzw. Problemkompartimenten zu entwickeln, das es gestattet, organische und/oder anorganische Verbindungen, Enzyme und/oder Keime in wäßrigem Milieu, Suspensionen und/oder Emulsionen ökonomisch zu reinigen, wobei die bisherigen technischen Nachteile überwunden werden sollen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren zum chemischen Abbau von oxidierbaren Verbindungen, insbesondere organischen und/oder anorganischen Verbindungen sowie von Enzymen und/oder Keimen, in wäßrigen Lösungen, in Suspensionen und/oder Emulsionen, durch Kombination eines Vollmetallkatalysators mit Ultraschall und Oxidationsmittel.

Vorteilhafte Weiterbildungen des Erfindungsgegenstandes sind den Unteransprüchen zu entnehmen.

Vorzugsweise können oxidierbare organische und/oder anorganische Verbindungen, Enzyme und/oder Keime in wäßrigen Lösungen, Suspensionen, Emulsionen unter Zugabe eines Oxidationsmittels wie Wasserstoffperoxid und/oder von sauerstoffhaltigen Gasen und/oder von Peroxoverbindungen und/oder von ozonhaltigen Gasen und/oder von Ozon und/oder Luft für eine Zeit von 2 bis 600 Minuten in Gegenwart kobalt-, kupfer- und/oder manganhaltiger Katalysatoren, die jedoch noch andere Elemente wie Chrom, Nickel, Eisen, Molybdän, Wolfram, Vanadium, Palladium, Platin, Rhodium, Iridium, Osmium, Rhenium, Zirkonium, Gold, Silber, Zink, Aluminium, Silizium und/oder deren Verbindungen und/oder deren Elementverbindungen enthalten können, mit Ultraschall des Frequenzbereiches von 16 kHz bis 5 MHz und bei Temperaturen im Bereich von 10°C bis 130°C behandelt werden.

Als Katalysatoren werden heterogene Katalysatoren eingesetzt. Geeignete Katalysatoren sind die vom Typ MOLOx

WF, basierend auf einer Kobaltlegierung, MOLOx WS, basierend auf einer Kupferlegierung, und/oder MOLOx W, basierend auf einer Manganlegierung (vgl. DE-PS 1 95 03 865.7, DE-PS 1 96 13 273.8 und DE-PS 1 96 10 345.2).

Der Einsatz des Katalysators erfolgt in Form von Gestriken aus rundem oder geplättetem Draht, Spänen und/oder Granalien und/oder jeder anderen oberflächenreichen, den Ultraschall förderlichen Form.

Als Ultraschallquellen eignen sich Platten- und/oder Stabschwinger. Die Schallintensitäten liegen zwischen 1 und 1000 W/cm², die Schalleistungen zwischen 5 W und 210 kW.

Zur Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird ein Batchreaktor oder ein Durchflußreaktor, der als Strömungsrohr, Kreislaufreaktor und/oder Schlaufenreaktor betrieben wird, verwendet. Günstig ist ein Rohrreaktor, der im Innenraum die Katalysatorpackung enthält, bei dem mehrere Ultraschallquellen im Inneren des Reaktors parallel zur Strömungsrichtung oder mehrere Ultraschallquellen um die Reaktorkammer, in der Reaktorwand und/oder mehrere Ultraschallquellen quer zur Strömungsrichtung angeordnet werden.

Möglich ist außerdem, daß in das wäßrige Medium homogene Katalysatoren (gelöste, dispergierte und/oder suspendierte Kupfer-, Mangan-, Cobalt-, Chrom-, Nickel-, Eisen-, Molybdän-, Wolfram-, Vanadium-, Palladium-, Platin-, Rhodium-, Iridium-, Osmium-, Rhenium-, Titanium-, Zirkonium-, Gold-, Silber-, Zink-, Aluminium-Verbindungen) und/oder Enzymkatalysatoren zugegeben oder heterogene Katalysatoren in Kombination mit homogenen Katalysatoren und/oder Enzymkatalysatoren eingesetzt werden.

Der Erfindungsgegenstand wird durch nachstehende Beispielenäher erläutert.

Ausführungsbeispiele

Beschreibung der Versuchsanordnungen:

Die Batchversuche wurden in einem Ultraschallreaktor (Länge = 600 mm, Breite = 300 mm, Höhe = 150 mm) durchgeführt, in dem der entsprechende Katalysator entweder als Schüttung oder als Katalysatorgestrick eingesetzt wurde. Nach dem Befüllen des Ultraschallbades mit der zu reinigenden wäßrigen Lösung, wurde eine definierte Menge Wasserstoffperoxid zugesetzt und das Ultraschallbad in Betrieb genommen.

Der unter dynamischen Verhältnissen verwendete Rohrreaktor (Innendurchmesser = 107 mm, Länge = 700 mm) besteht aus einem zylindrischen Rohr mit insgesamt vier in die Reaktorwand eingebauten Ultraschallquellen (Plattenschwingern). Im Innenraum des Reaktors befand sich die Katalysatorpackung, bestehend aus 5 dm³ bzw. 400 g Katalysatorgestrick MOLOx.

Als weitere Variante eines Durchflußreaktors wurde ein Ultraschall-Wannensystem eingesetzt (Länge = 600 mm, Breite = 300 mm, Höhe = 150 mm) in dem der Katalysator parallel zum Wannensystem angeordnet ist. Das Ultraschallwannensystem wurde als Kreislauf- und/oder Schlaufenreaktor bzw. kontinuierlich betrieben.

Abbau von leichtflüchtigen halogenierten Kohlenwasserstoffen (LHKW)

allgemeine Versuchsdurchführung:

a) Abbau des LHKW in Gegenwart von Ultraschall (Vergleichsbeispiel)

23 l einer wäßrigen Lösung mit einem LHKW-Gehalt von 50–150 mg/l wurden im beschriebenen Batchreaktor mit einer Ultraschallfrequenz von 35 kHz behandelt. Nach einer Reaktionszeit von 120 Minuten wurden die in Spalte 4 der Tabelle 1 angegebenen Umsätze erzielt.

b) Abbau von LHKW in Gegenwart von Wasserstoffperoxid unter Ultraschalleinwirkung (Vergleichsbeispiel)

23 l einer wäßrigen Lösung mit gleicher LHKW-Konzentration wurden im beschriebenen Batchreaktor unter Zugabe von 70 ml Wasserstoffperoxid mit 35 kHz Ultraschall behandelt. Nach einer Reaktionszeit von 120 Minuten wurden die in Spalte 5 der Tabelle 1 angegebenen Umsätze erzielt.

c) Katalytischer Abbau von LHKW in Gegenwart von Wasserstoffperoxid (Vergleichsbeispiel)

23 l einer wäßrigen Lösung mit einem LHKW-Gehalt von 50 bis 150 mg/l wurden im beschriebenen Batchreaktor in Gegenwart von 70 g Katalysatorgestrick unter Zugabe von 70 ml Wasserstoffperoxid behandelt. Nach einer Reaktionszeit von 120 Minuten wurden die in Spalte 6 der Tabelle 1 angegebenen Umsätze erzielt.

d) Katalytischer Abbau von LHKW unter Ultraschallbehandlung in Gegenwart von Wasserstoffperoxid (erfindungsgemäß)

23 l einer wäßrigen Lösung mit einem LHKW-Gehalt von 50 bis 150 mg/l wurden im beschriebenen Batchreaktor mit 70 ml Wasserstoffperoxid in Gegenwart von 70 g Katalysatorgestrick mit 35 kHz Ultraschall behandelt. Nach einer Reaktionszeit von 120 Minuten wurden die in Spalte 7 der Tabelle 1 angegebenen Umsätze erzielt.

Tabelle 1

Umsätze beim Abbau der LHKW in wäßrigem Milieu nach 120 Minuten Reaktionszeit

LHKW	Katalysator	Gehalt (mg/l)	Umsatz in %			
			Variante a	Variante b	Variante c	Variante d
Chlorbenzol	MOlox W	50	28	25	35	75
Brombenzol	MOlox WF	100	20	20	30	71
Chlorbenzol	MOlox WS	100	28	25	40	78
Chloroform	MOlox WS	100	45	43	24	84
Chloroform*	MOlox WS	50	45	45	30	88
CFC 11*	MOlox WS	50	34	34	25	68
CFC 113	MOlox WS	50	20	19	24	61
Tetrachlorethylen	MOlox W	100	40	38	25	84
Trichlorethylen	MOlox WS	150	45	43	20	81
1,2-Dichlorethylen	MOlox WF	100	35	37	23	73
Fluordibrommethan	MOlox WS	50	21	20	26	61
1,2-Dichlorethan	MOlox W	50	15	14	23	64
1,2-Dibromethan	MOlox WS	75	10	10	23	42

* Umsetzungen bei 850 kHz Ultraschall

Katalytischer Phenolabbau mit Wasserstoffperoxid in Gegenwart von Ultraschall (erfindungsgemäß)

Bei Untersuchung des Phenolabbaues im Waschwasser einer Bodenwaschanlage, das auch Kresol- und Xylenol-Isomere enthielt, wurden 23 l der wäßrigen Lösung mit einem Gesamtphenolgehalt von 500 mg/l unter Zugabe von 190 ml Wasserstoffperoxid (30 Ma.-%) in Gegenwart des Kupfer und Mangan enthaltenden Katalysators gereinigt.

Durch Hinzufügen des Katalysators wurde eine Kupfer- und Mangankonzentration von jeweils 50 mg/l eingestellt. Das Reaktionsgemisch wurde mit 250 l/h im o.g. Ultraschall-Wannensystem unter der Einwirkung von Ultraschall (35 kHz) im Kreislauf geführt. Bezogen auf den Gesamtphenolgehalt führte die Behandlung nach 30 Minuten zu einem Phenolabbau von 75%.

Phenolabbau mit Ultraschall und Wasserstoffperoxid durch kombinierten Einsatz eines homogenen und heterogenen Katalysators (erfindungsgemäß)

25 l einer wäßrigen Lösung mit einem Phenolgehalt von 500 mg/l, die außerdem 2500 mg/l Wasserstoffperoxid enthält, werden erfindungsgemäß in Gegenwart von 80 g manganhaltigem Katalysator MOlox W in Spanform unter Zugabe eines kupferhaltigen homogenen Katalysator in der vorgestellten Versuchsanordnung behandelt. Nach Zusatz des homogenen Katalysators betrug die Kupferionenkonzentration 50 mg/l. Durch Ultraschallbehandlung mit einer Frequenz von 35 kHz werden innerhalb von 30 Minuten 85% Phenol abgebaut.

Abbau des Farbstoffes Tectilon Blau 4R

a) Abbau des Farbstoffes Tectilon Blau 4R mit Peressigsäure ohne Ultraschall in Gegenwart eines heterogenen Katalysators (Vergleichsbeispiel)

31,5 l farbstoffhaltiges Wasser, das den Farbstoff Tectilon Blau 4R in einer Konzentration von 100 mg/l enthielt, wird nach dem Aufheizen auf 70°C mit einer Geschwindigkeit von 1000 l/h in einer Durchflußapparatur bestehend aus einem 50 l Vorratsgefäß und den vorgestellten, mit 5 l kobalthaltigem Katalysatorgestrick MOlox WF gefüllten Rohrreaktor im Kreislauf geführt.

Durch verteilte Zugabe von insgesamt 126 ml Peressigsäure (15 Ma.-%) zum Zeitpunkt t=0, sowie nach 10 min,

20 min und 30 min zu je gleichen Volumenanteilen werden nach 60 Minuten 80% des genannten Farbstoffes ohne Ultraschallbehandlung abgebaut.

b) Abbau des Farbstoffes Tectilon Blau 4R mit Peressigsäure und Ultraschallbehandlung in Gegenwart eines heterogenen Katalysators (erfindungsgemäß)

31, 5 l farbstoffhaltiges Wasser, das den Farbstoff Tectilon Blau 4R in einer Konzentration von 100 mg/l enthielt, wird erfindungsgemäß nach dem Aufheizen auf 70°C mit einer Geschwindigkeit von 1000 l/h in einer Durchflußapparatur bestehend aus einem 50 l Vorratsgefäß und den vorgestellten, mit 5 l kobalthaltigem Katalysatorgestrick MOlox WF gefüllten Rohrreaktor unter der Einwirkung von Ultraschall mit einer Frequenz von 55 kHz im Kreislauf geführt.

Durch verteilte Zugabe von insgesamt 120 ml Peressigsäure (15 Ma.-%) zu Reaktionsbeginn sowie nach 10 min, 20 min und 30 min zu je gleichen Volumenanteilen, werden nach 60 Minuten Ultraschallbehandlung 95% des genannten Farbstoffes abgebaut.

Technisch-ökonomische Vorteile der Erfindung

Der Vorteil des aufgeführten Verfahrens besteht darin, daß die an sich bekannten Effekte, die bei Behandlung von Problemwässern mit Ultraschall oder Oxidationsmitteln und Katalysatoren feststellbar sind, sich bei Verbindung der Ultraschallanwendung mit Vollmetallkatalysatoren und Oxidationsmittel überraschend synergistisch ergänzen. Es kommt zu einer Verdopplung bis Verzehnfachung der Abbaugeschwindigkeit. Das Verfahren läßt sich ökonomisch betreiben.

Patentansprüche

1. Verfahren zum chemischen Abbau von oxidierbaren Verbindungen, insbesondere organischen und/oder anorganischen Verbindungen sowie von Enzymen und/oder Keimen, in wäßrigen Lösungen, in Suspensionen und/oder Emulsionen, durch Kombination eines Vollmetallkatalysators mit Ultraschall und Oxidationsmittel.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß homogene Katalysatoren wie gelöste, dispergierte und/oder suspendierte Kupfer-, Mangan-, Cobalt-, Chrom-, Nickel-, Eisen-, Molybdän-, Wolfram-, Vanadium-, Palladium-, Platin-, Rhodium, Iridium-, Osmium-, Rhenium-, Titanium-, Zirkonium-, Gold-, Silber-, Zink-, Aluminium-Verbindungen den Abbau oxidierbarer Verbindungen unterstützen.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß Vollmetallkatalysatoren zum Einsatz kommen, die noch andere Elemente wie Chrom, Nickel, Eisen, Molybdän, Wolfram, Vanadium, Palladium, Platin, Rhodium, Iridium, Osmium, Rhenium, Titanium, Zirkonium, Gold, Silber, Zink, Aluminium, Silizium und/oder deren Verbindungen und/oder deren Elementverbindungen enthalten.
4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Abbau oxidierbarer Verbindungen der Katalysator in Form von Gestricken aus rundem oder geplättetem Draht, Spänen und/oder Granalien und/oder jeder anderen Form, die eine hinreichend große Oberfläche gewährleistet, angewendet wird.
5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß für den Abbau oxidierbarer Verbindungen Ultraschall des Frequenzbereiches von 16 kHz bis 5 MHz, vorzugsweise zwischen 20 bis 1500 kHz, angewendet wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 und 5, dadurch gekennzeichnet, daß als Ultraschallquellen elektrische Schwingungserzeuger in Form von Plattenschwingern und/oder Stabschwingern eingesetzt werden, mit denen sich Schallintensitäten zwischen 1 und 1000 W/cm² und Leistungen zwischen 5 W und 20 kW realisieren lassen und die im Dauer- als auch Impulsbetrieb arbeiten.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß für den Abbau oxidierbarer Verbindungen Ultraschallreaktoren Verwendung finden, die als Batch- und/oder Durchflußreaktoren ausgeführt sind. Durchflußreaktoren können als Strömungsrohr, Kreislaufreaktor und/oder Schlaufenreaktor mit einer Durchflußrate von 0.01 bis 100 m³/h betrieben werden.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß als Durchflußreaktor ein Rohrreaktor eingesetzt wird, bei dem eine oder mehrere Ultraschallquellen im Inneren des Reaktors parallel zur Strömungsrichtung, eine oder mehrere Ultraschallquellen um die Reaktorkammer, eine oder mehrere Ultraschallquellen in der Reaktorwand und/oder eine oder mehrere Ultraschallquellen quer zur Strömungsrichtung angeordnet sind.
9. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß für den Abbau oxidierbarer Verbindungen Oxidationsmittel wie Wasserstoffperoxid und/oder sauerstoffhaltige Gase, und/oder Peroxoverbindungen, und/oder ozonhaltige Gase, und/oder Ozon und/oder Luft Verwendung finden.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß für den Abbau oxidierbarer Verbindungen eine Reaktionszeit von 2 bis zu 600 Minuten, vorzugsweise bis zu 240 Minuten erforderlich ist.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß für den Abbau oxidierbarer Verbindungen Reaktionstemperaturen von 10 bis 150°C, vorzugsweise von 20 bis 40°C, realisiert sind.

BEST AVAILABLE COPY

- Leerseite -